

DEFICIÊNCIA E TOXICIDADE VISUAIS DE NUTRIENTES EM SOJA

MASCARENHAS, Hipólito Assunção Antonio¹

ESTEVES, José Antonio de Fátima²

WUTKE, Elaine Bahia²

RECO, Paulo Cesar²

LEÃO, Paulo César da Luz³

Recebido em: 2013-09-10

Aprovado em: 2013-10-10

ISSUE DOI: 10.3738/1982.2278.974

RESUMO: Este trabalho trata da descrição de deficiências e toxidez de nutrientes em soja, apresentadas em figuras ilustrativas, com ênfase nas funções dos macro e micronutrientes na planta e nos grãos, Tem como objetivo a sua utilização por extencionistas, produtores, instituições de pesquisa e estudantes da área agrônômica.

Palavras-chave: *Glycine Max* (L.) Merrill. Diagnose foliar. Estresse nutricional. Grãos de soja.

SUMMARY: This paper deals with the description of deficiencies and toxicity of nutrients in soybeans presented in illustrated figures, with emphases of the functions of macro and micro nutrients in the plant and seeds. The principal objective is to utilize it by extencionists, farmers, research institutions and students in the area of agronomy.

Keywords: *Glycine Max* (L.) Merrill. Foliar diagnoses. Nutritional stress. Soybeans seeds.

INTRODUÇÃO

A composição da planta de soja (*Glycine Max* (L.) Merrill) foi estudada por Borst e Thatcher pela primeira vez em 1931. Os resultados obtidos por estes dois pesquisadores foram aperfeiçoados por Jones em Ohio em 1966, na Agriculture Experimental Station, em Wooster, Ohio, citada por Ohlrogge e Kamprath (1968). Posteriormente, o estudo foi refinado por PECK (1979) e, utilizado no Brasil, consistindo na divisão por classes de interpretação nutricionais das folhas. As folhas refletem melhor o estado nutricional das plantas para as variações ou a falta de determinados nutrientes.

1 ANÁLISE QUÍMICA DAS FOLHAS

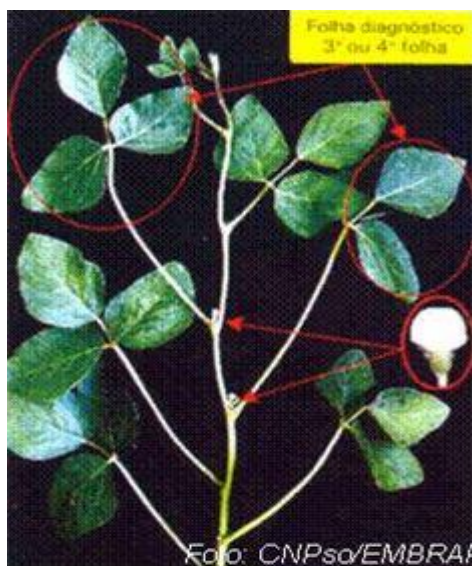
Devido à distribuição de nutrientes para os diversos órgãos da planta de soja após absorvidos, em diferentes estádios de desenvolvimento, estabeleceu-se que a amostragem de folhas para análise química deve ser realizada na época do pleno florescimento, coletando-se de 30 a 40 folhas com pecíolo recém-maduras, que correspondem à terceira ou quarta folha a partir do ápice da haste principal (Figura 1).

¹ Pesquisador científico aposentado, Instituto Agrônômico, IAC. mascarenhashaa@gmail.com

² Pesquisador científico, Instituto Agrônômico, IAC. jafesteves@iac.sp.gov.br; ebwutke@iac.sp.gov.br; recco.paulo.cesar@gmail.com

³ Assistente de Planejamento, EBR Orlandia (SP). pauloleao@feituverava.com.br

Figura 1. Terceira ou quarta folha de soja a partir do ápice a ser coletada para análise das folhas, na fase de desenvolvimento R1.



A análise química das folhas tem por objetivo verificar o estado nutricional das plantas e, juntamente com os resultados de análise de solo, quantificar as necessidades de aplicação de nutrientes nos próximos cultivos.

O preparo da amostra vegetal e a análise química consistem na coleta das folhas, lavagem em água desmineralizada, secagem em estufa em, aproximadamente, 65 °C, moagem e mineralização por via úmida (ataque com ácidos), para posterior determinação dos teores de nutrientes.

Na tabela 1, estão às classes de interpretação do estado nutricional das plantas de soja utilizadas no Brasil. Verifica-se que, a cultura com nutrição deficiente pode ser afetada negativamente, podendo ocorrer para quaisquer nutrientes ou, no caso de absorção excessiva (toxidez), que tem no Mn seu exemplo mais comum nos cultivos de soja no Brasil. Na tabela 2, estão os teores de nutrientes nas folhas de soja encontradas nas lavouras com excelente produtividade no Brasil e nos Estados Unidos, não significando, necessariamente, que sejam os níveis críticos para as respectivas produtividades, mas servindo como referência para o cultivo de soja de alto rendimento.

Tabela 1. Classes de interpretação do estado nutricional das plantas de soja utilizadas no Brasil
(Continua)

Nutrientes	Classes de interpretação				
	Deficiente	Baixo	Suficiente	Alto	Excessivo
	g kg⁻¹				
N	<32,5	32,6-40,0	40,1-55,0	55,1-70,0	>70
P	<1,6	1,7-2,5	2,6-5,0	5,1-8,0	>8,0
K	<12,5	12,6-17,0	17,1-25,0	25,1-27,5	>27,5
Ca	<2,0	2,1-3,5	3,6-20,0	20,1-30,0	>30,0
Mg	<1,0	1,1-2,5	2,6-10,0	10,1-15,0	>15,0
S	<1,5	1,6-2,0	2,1-4,0	>4,1	

Tabela 1. Classes de interpretação do estado nutricional das plantas de soja utilizadas no Brasil
(Conclusão)

	mg kg⁻¹				
B	<10	11-20	21-55	56-80	>80
Cu	<5	6-9	10-30	31-50	>50
Fe	<30	31-50	51-350	351-500	>500
Mn	<15	16-20	21-100	101-250	>250
Mo	<0,5	0,6-0,9	1,0-5,0	5,1-10	>10
Zn	< 11	12-20	21-50	51-75	>75

Fonte: PECK (1979).

Tabela 2. Teores de nutrientes nas plantas de soja coletadas de lavouras com alta produtividade no Brasil e nos Estados Unidos

Nutrientes	Brasil	Estados Unidos
	g kg⁻¹	
N	47-55	58,2
P	3,0-4,0	4,3
K	18-21	22,3
Ca	9-20	9,1
Mg	3-6	3,2
S	2,0-3,0	2,4
	mg kg⁻¹	
B	30-50	42
Cu	10-15	12
Fe	70-150	126
Mn	60-120	35
Mo	1,0-5,0	-
Zn	50-70	50

Produtividade em Sacas ha⁻¹: Brasil 50 -60 sacas; Estados Unidos 116 sacas. Fauconnier; Malavolta (1999)

Fonte: Fauconnier; Malavolta (1999)

2 COMPOSIÇÃO MINERAL DAS PLANTAS DE SOJA

Somente 13 elementos inorgânicos são considerados essenciais à plena atividade das plantas: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibidênio (Mo) e zinco (Zn). Outros podem ser úteis a determinadas espécies vegetais em processos específicos. Por exemplo, na soja é citada a exigência de cobalto, participando no processo semibiótico (MALAVOLTA 1980) e, o níquel, com efeito benéfico também na fixação biológica do N atmosférico (SING; RAO, 1997).

a. Macronutrientes primários: N, P, K

- Nitrogênio (N)

A característica da deficiência do N é a redução uniforme de coloração verde das folhas, alterando-se para verde pálido e amarelado (clorose), devido à elevada mobilidade desse nutriente, os sintomas se iniciam pelas folhas mais velhas (Figura 2).

Figura 2. Deficiência de nitrogênio em plantas de soja.



A soja tem capacidade de absorver o N_2 atmosférico quando em simbiose com a bactéria específica *Bradyrhizobium japonicum*.

Submetida as sementes à inoculação com estirpes de alta eficiência, não se garante boa nodulação e fixação de N_2 , pois há necessidade que tenha o hospedeiro quando a bactéria possui condições ambientais e nutricionais satisfeitas para atividades simbióticas. Reconhece-se boa eficiência na fixação de nitrogênio através da presença nas raízes primárias de nódulos, grânulos, rugosas, de coloração interna vermelha (Figuras 3 e 4) antes do estado de pleno florescimento, não possibilitando verificação de eficiência de fixação, posteriormente, pois mudam para cor marrom.

Figura 3. Fixação de nitrogênio pela presença dos nódulos nas raízes primárias, podendo fixar de 100 a 160 kg de $N\ ha^{-1}$.



Figura 4. Corte transversal de nódulo mostrando coloração interna vermelha, sinal de nódulos saudáveis.



A aplicação de nitrogênio em cobertura não aumenta a produtividade (MASCARENHAS et al., 1967). Na figura 5, à medida que aumenta a dose de nitrogênio aplicado (0, 30, 60, 120, 240 kg ha^{-1}) em soja submetida à inoculação ocorre a redução da formação de nódulos. O resíduo do adubo nitrogenado

pós-aplicação agrícola pode contribuir para a contaminação dos mananciais de água, o que deve ser evitado.

Figura 5. Da esquerda para direita: Nodulação na soja “Hardee; nódulos coletados (à direita) em função da aplicação de 240, 120, 60, 30 e 0 kg N ha⁻¹, respectivamente.



Em cultivo com produtividade normal da soja, a inoculação das sementes de acordo com as recomendações técnicas, tem sido suficiente para atender a demanda de cultura em N. Entretanto, em cultivo de outono-inverno, principalmente, em clima mais ameno, NOVA et al. (1997) verificou que a fixação biológica não supriu adequadamente a quantidade exigida de N pela soja, sendo necessário a adubação mineral de 50 kg ha⁻¹.

Na tabela 3, são apresentados os dados médios (TANAKA et al., 1993) relativos aos nutrientes exportados, por cinco cultivares em três diferentes ambientes edáficos do Estado de São Paulo. Para a produtividade média de 3093 kg ha⁻¹ de grãos, foram exportados 182 kg ha⁻¹ de N.

Tabela 3. Quantidade média exportada de nutrientes pela soja na forma de grãos por cinco cultivares em três experimentos realizados no Estado de São Paulo.

Nutrientes	Grãos	
	1000	3093
	kg ha ⁻¹	
N	58,8	182
P	5,2	16
K	18,8	58
Ca	1,9	6
Mg	2,3	7
S	3,2	10
	g ha ⁻¹	
Fe	218,9	677
Mn	28,5	88
Cu	14,5	45
Zn	29,7	92

Fonte: Tanaka et al (1993)

- Fósforo (P)

O P tem importante função nas plantas como constituinte de compostos armazenados de alta energia como o ATP (trifosfato de adenosina). Utilizando-se dessa energia é que a semente germina, a planta efetua a fotossíntese, absorve a forma ativa dos nutrientes do solo e sintetiza vários compostos orgânicos. As plantas absorvem o P, preferencialmente, como o ânion H_2PO_4^- e, em menor taxa, como HPO_4^{2-} .

O P é rapidamente translocado dentro das plantas e pode mover-se dos tecidos mais velhos para os mais novos, em condições de reduzida disponibilidade no solo. Em plantas adultas, a grande parte do P transloca-se para as sementes. Devido à alta mobilidade do P na planta, seu sintoma de deficiência aparece, inicialmente, nas folhas mais velhas, caracterizado pela coloração anormal em verde-escuro azulado ou bronzeada. A cor púrpura deve-se ao decréscimo da síntese de proteína quando P é deficiente. Outras anormalidades na planta podem ser: caules finos, folhas pequenas, crescimento lateral limitado (Figura 6). Em linha onde o adubo fosfatado não foi aplicado pela adubadora, as plantas ficaram com altura e crescimento reduzidos (Figura 7).

Para a produtividade média de 3093 kg ha^{-1} foram exportados 58 kg ha^{-1} de P.

Figura 6. Deficiência no desenvolvimento da soja em função da aplicação de P em plantas com sintomas de deficiência do nutriente. (Foto PPI)



Figura 7. Linha onde não foi realizada a adubação fosfatada pela adubadora, com plantas com altura e crescimento reduzidos.



- Potássio (K)

Inicialmente, com a deficiência de K, tem-se o amarelecimento no ápice das folhas adultas, sendo atingidas as bordas e toda a lâmina foliar, com necroses posteriores dos tecidos na mesma ordem de progressão dos sintomas (Figura 8). Na linha onde não foi realizada a adubação potássica pela adubadora, nota-se o amarelecimento das folhas e plantas menores do que as normais, com haste grossa (Figura 9). As plantas com deficiência de K têm flores remanescentes, menos vagens, o tamanho é pequeno e sem sementes, comparado com plantas normais (Figura 10). As vagens são manchadas o que afeta a qualidade de sementes (Figuras 11 e 12). A deficiência de K também causa a abertura de vagens com germinação e deterioração de sementes em seu interior (Figura 13). Em solos arenosos, a aplicação insuficiente de K por vários anos pode causar sintomas de: (a) haste verde, (b) haste verde e retenção foliar, (c) frutos partenocárpicos (Figura 14).

Figura 8. Sintomas de deficiência de K em soja em reboleira, devido à má aplicação à lanço da adubação potássica.



Figura 9. Linha não adubada com K pela adubadora; nota-se o amarelecimento das folhas, plantas menores que as normais, com haste grossa e poucas vagens.



Figura 10. À esquerda, a planta adubada adequadamente com K com muitas vagens com sementes; à direita, a planta tem poucas vagens e flores remanescentes, devido à falta de adubação potássica.



Figura 11. À esquerda, as vagens são normais (adubada adequadamente com K); à direita, as vagens com deficiência de K.



Figura 12. À esquerda, sementes de soja sem qualidade e com tegumento fosco, produzidas em solo sem calagem e deficiente em K. À direita, sementes de qualidade e com tegumento brilhante, obtidas em solo com calagem e com teor adequado de K.



Figura 13. Sintomas de deficiência de K em cultivar de soja IAS-5: à esquerda, abertura de vagens, com germinação e deterioração das sementes ainda em seu interior; à direita, vagens normais.



Figura 14. Sintomas da deficiência de K em soja. (a) haste verde; (b) haste verde e retenção foliar; (c) frutos paternocárpicos.



A deficiência de K pode causar sintomas de *Phomopsis* (Figura 15) em hastes e vagens. Ela também provoca a doença (*Cercospora kikuchi*) em (a) folhas, (b) vagens (Figura 16). A mancha púrpura nas sementes (Figura 17) é causada por *Cercospora kikuchi*. O cancro da haste pode provocar muitos danos e pode ser controlado com o uso de K em condições de campo. Embora exista cultivares resistentes a essa doença, se houver “quebra” dessa resistência, os pesquisadores e agricultores podem utilizar a adubação com K com objetivo de controle (Figura 18). As doenças também afetam a qualidade das sementes (Figura 19).

Figura 15. Sintomas de incidência de *Phomopsis sojae* em hastes e vagens em maturação devido à deficiência de K em soja.



Fonte: Margarida F. Ito.

Figura 16. Sintomas de doença causada por *Cercospora kikuchi*, em plantas de soja IAC-9. Incidência severa por deficiência de K: (a) nas folhas; (b) em vagens.



Foto: Margarida F. Ito

Figura 17. Sintomas severos de mancha púrpura causada por *Cerospora kikuchi*.



Fonte: Margarida F. Ito

Figura 18. . Haste de soja, cultivar IAS-5, sem (acima) e com (abaixo) sintoma de cancro da haste *Diaporthe phaseolorum* sp. *meridionales* pela deficiência de K.



Figura 19. As doenças também afetam a qualidade de sementes pela deficiência de K. À esquerda, sementes de soja com tegumento fosco. À direita, sementes de qualidade com tegumento brilhante.



O K é absorvido como cátion monovalente presente na solução do solo. Essa forma está em equilíbrio com outra, conhecida como trocável, que fica adsorvida nos coloides (orgânicos e minerais) devido à troca catiônica desses materiais. Essas duas formas são disponíveis às plantas.

O K é em quantidade, o segundo nutriente mais exigido pela soja. Para uma produção de 3093 kg ha⁻¹ foram exportados 58 kg ha⁻¹ de potássio pelos grãos.

2.2 MACRONUTRIENTES SECUNDÁRIOS: CA, MG E S

- Cálcio (Ca)

Com a carência de Ca, são afetados os pontos de crescimento, bem como os meristemas apicais das hastes e das raízes, podendo ocorrer à morte da planta. As folhas tornam-se enroladas e pode haver o colapso dos pecíolos (Figura 20). O sistema radicular apresenta-se com coloração marrom e pequeno desenvolvimento.

Figura 20. Colapso do pecíolo de soja com deficiência de Ca.



O Ca é absorvido pela planta na forma de Ca⁺². Apesar de maior concentração de cálcio do que de potássio na solução do solo (cerca de 10 vezes mais), sua taxa de absorção é geralmente menor, em relação aos outros nutrientes catiônicos. Além dessa característica, na absorção do cálcio ocorre competição com a de outros cátions, como K⁺ e NH₄⁺. Em plantas dicotiledôneas, como a soja, de modo geral, há maior teor de Ca nos tecidos. Esse processo está relacionado com a maior capacidade de troca de cátions das raízes, gerada pelos grupos livres carboxílicos das pectinas da parede celular.

A importância do Ca na planta está no processo da divisão celular. Por esta razão, sua deficiência no solo pode causar até a morte gradual dos ápices. A permeabilidade da membrana e a manutenção de integridade celular dependem, também, de adequada concentração de Ca nos tecidos, assim como do crescimento do grão de pólen, de sua germinação e de crescimento de tubo polínico. A simbiose entre bactérias fixadoras do N atmosférico e as raízes das leguminosas é inibido em solos ácidos, com baixo teor de cálcio. Sabe-se que a infecção da raiz pela bactéria fixadora é o início da nodulação, e necessita de muito mais cálcio do que o próprio crescimento da planta hospedeira.

Grande quantidade de Ca é exigida para um excelente desenvolvimento da parte aérea de soja, entretanto é pequena a fração (6 kg ha⁻¹) exportada pelos dos grãos (Tabela 3).

- Magnésio (Mg)

Sua deficiência é visualizada nas folhas velhas, inicialmente em clorose marginal e, posteriormente, internerval, seguindo-se o secamento das bordas (Figura 21).

Figura 21. Sintoma de deficiência de magnésio em folhas maduras de soja.



As plantas absorvem o Mg na solução do solo na forma de Mg^{+2} . Sua taxa de absorção pode ser bastante reduzida por outros cátions, como K^+ , Ca^{+2} , Mn^{+2} e H^+ .

As funções do Mg nas plantas estão relacionadas com sua mobilidade dentro das células, sua capacidade de interagir com os grupos fosforil e de formar complexos de estabilidade bastante variáveis. A alta proporção de Mg^{+2} total está envolvida no controle do pH do suco celular e no balanço cátion-ânion. Geralmente, o Mg é absorvido pelas plantas em menores quantidades do que a absorção de Ca^{+2} ou do K^+ , com sua concentração, não ultrapassando 5 g kg^{-1} de matéria seca dos tecidos vegetais. Na absorção, também tem o antagonismo de outros cátions, como NH^+ , Ca^{+2} e K^+ , o que pode levar a sua deficiência. Ao contrário do Ca^{+2} , o Mg^{+2} é muito móvel no floema e, portanto, redistribui-se facilmente das folhas e dos tecidos mais velhos para as regiões de maior exigência, como os meristemas e os órgãos de reserva.

Apenas 7 kg ha^{-1} de magnésio é exportado para uma produção de 3093 kg ha^{-1} de grãos (Tabela 3).

- Enxofre (S)

Os sintomas de deficiência de S são semelhantes àqueles do N diferindo-se deste último por ser nas folhas mais novas, devido à sua menor mobilidade nos tecidos (Figura 22). O sistema radicular e a nodulação são reduzidos (Figura 23). Excesso de S pode causar toxidez (Figura 24). A aplicação de superfosfato triplo, no cerrado do primeiro ano, em lugar de superfosfato simples (contém 13% de S) causa sintomas similares aos de deficiência de N e as plantas não crescem. O excesso de S nas folhas causa manchas de amarelecimento (Figura 25).

Figura 22. Deficiência de S. À esquerda, com S; à direita, sem S e clorose total da folha.



Figura 23. À esquerda, maior número de nódulos de soja, cultivar de soja Hardee, devido à aplicação de sulfato de amônio e, à direita, testemunha sem adubo.

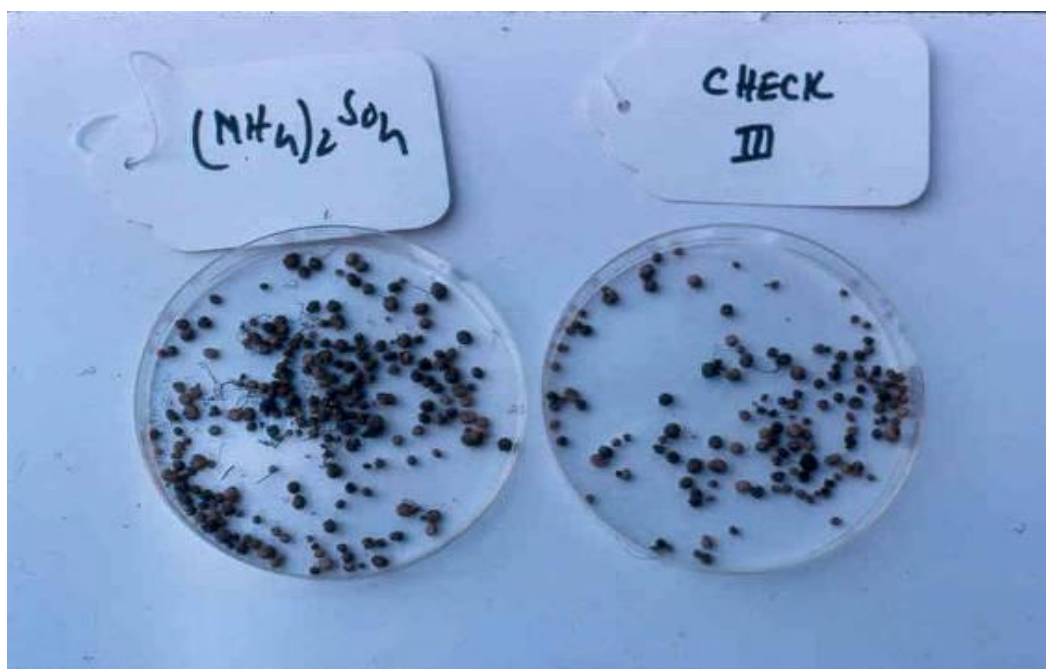


Figura 24. Excesso de S pode causar toxidez.



Figura 25. No canteiro de soja foi aplicado supertriplo (não contém S). A deficiência de S causa o amarelecimento das folhas (semelhante ao sintoma de deficiência de N) e as plantas não crescem. Ao fundo, plantas altas com aplicação de superfosfato simples (contém 13% de S).



A absorção de S assemelha-se bastante à do N, ou seja, há necessidade de sua redução para que seja incorporado aos aminoácidos que, posteriormente, farão parte de proteína, coenzimas, e outros compostos. O S é um dos constituintes dos aminoácidos essenciais cisteína e metionina; dessa forma, em condições de deficiência de S, a síntese de proteína é inibida e/ou a sua qualidade é afetada negativamente, porém a deficiência de S aumenta o teor de amido nas folhas. As plantas deficientes em S apresentam menor teor de clorofila e, conseqüentemente, uma coloração verde pálido. A quantidade exportada de S na forma de grãos é de 10 kg ha⁻¹ (Tabela 3) em cultura com produtividade média de 3093 kg ha⁻¹.

Pela tabela 4, pode-se observar que no Estado de São Paulo a deficiência de micronutrientes é rara. A não resposta a adubação com micronutrientes talvez seja devido ao calcário, superfosfato simples e superfosfato triplo que contêm micronutrientes como impureza.

Tabela 4. Teores totais de micronutrientes em calcário, superfosfato simples e superfosfato triplo utilizados no Estado de São Paulo

Micronutrientes	Calcário			Superfosfato Simples	Superfosfato Triplo
	Mínimo	Máximo	Médio		
Molibidênio	0,1	5,0	0,9	3,3	4,6
Cobalto	0,0	46,9	4,2	nd	Nd
Cobre	5,4	42,2	11,0	22,4	15,0
Zinco	7,5	46,0	15,2	18,4	129,0
Manganês	30,0	1760,0	810,0	228,0	258,0
Ferro	159,0	33110,0	3905,0	3267,0	4706,0

nd: não determinado.

Fonte: Dados fornecidos por Dr. Valadares e Dr. Bataglia do Departamento de Solos do IAC, 1974.

2.3 OS MICRONUTRIENTES QUE TEM RECEBIDO MAIOR ATENÇÃO SÃO BORO, ZINCO, MANGANÊS, MOLIBDÊNIO E FERRO.

- Boro (B)

Devido à baixa solubilidade dos compostos de B na planta, o sintoma de deficiência é constatado nas gemas apicais e em folhas novas. Pela figura 26, nota-se que as folhas são coriáceas, rugosas e espessas.

Figura 26. Sintomas de deficiência de B em soja cultivada em solo de várzea com calagem excessiva.



Na área de várzea em Guaira, onde se aplicou 12 t ha^{-1} de calcário dolomítico, houve sintomas de deficiência de B desde agudo até plantas praticamente sadias. Para melhor caracterização da deficiência, semeou-se em condições de estufa, a cultivar IAC-9 em vasos preenchidos com solo coletado na profundidade de 0-20 cm, nas reboleiras de plantas. Após o desbaste, deixaram quatro plantas por vaso. Na deficiência aguda de B, não houve formação de folhas primárias e na plântula apareceram apenas as folhas cotiledonares (Figura 27). Em condições menos severas, observou-se a presença de folhas primárias, porém com morte de gema apical (Figura 28). Na deficiência menos intensa de B, mesmo com a morte da gema apical, na plântula formaram-se novas gemas laterais. Entretanto, por diminuição da multiplicação celular, tais gemas se desenvolveram até a formação de pequenas folhas e seu desenvolvimento posterior foi paralisado, caracterizando uma situação de superbrotamento. Em decorrência do pequeno desenvolvimento das plantas, as folhas primárias tornaram-se coriáceas e espessas (Figura 29). Na figura 30, observam-se diferentes níveis de deficiência de B em plântulas de soja com a mesma idade.

Em condições de campo (várzea), houve encurtamento de internódios e as plantas ficaram anãs com caule bastante grosso, prejudicando a colheita mecânica (Figura 31).

Figura 27. Plântula de soja, cultivar IAC-9, com apenas folhas cotiledonares e morte da gema apical, em situação de deficiência severa de B no solo.



Figura 28. Plântula de soja, cultivar IAC-9, com folhas primárias e morte da gema apical e brotamento de gemas axilares das folhas cotiledonares em situação de deficiência medianamente severa de B no solo.



Figura 29. Má formação de folíolos dos brotos e, conseqüentemente, paralisação de crescimento, propiciando o desenvolvimento de novas gemas laterais, caracterizando superbrotamento.



Figura 30. Diferente intensidade de deficiência de B em plântulas da mesma idade, sendo a da direita considerada normal.



Figura 31. À esquerda, planta normal, à direita, com nanismo, caracterizado por internódios curtos.



O B é relativamente imóvel na grande maioria das plantas e, como consequência, os primeiros sintomas de deficiência aparecem nos meristemas, regiões de crescimento e de maior exigência. Entretanto, em determinadas espécies vegetais que produzem significativa quantidade de polifenóis, com a morte de gema apical, BROWN e SHELPS, (1997) verificaram mobilidade de B.

As plantas necessitam de B para inúmeros processos de crescimento, a saber, no crescimento, na divisão celular e no metabolismo de ácido nucleico; na germinação de pólen e no crescimento do tubo polínico; na síntese de aminoácidos e proteínas; e no transporte interno de açúcares, amido, N e P.

Na produtividade de 3.093 kg de grãos de soja estima-se que 75 g de B são exportados pelos grãos.

- Zinco (Zn)

O sintoma de deficiência de Zn é observado em folhas adultas com coloração amarelo- castanho (Figura 32).

Figura 32. Deficiência de Zn. Sintoma inicial nas folhas mais novas de soja. Com clorose internerval e cor amarelo-ouro.



A solubilização do Zn é inversamente proporcional à elevação de pH, podendo dessa forma ocorrer deficiência em plantas em condições alcalinas. Ele é absorvido, predominantemente, como um cátion divalente Zn^{+2} . A absorção é afetada negativamente pela alta concentração de outros cátions divalentes como Ca^{+2} , alto valor de pH que diminui a solubilidade dos compostos de Zn e alta dose de aplicação de adubo fosfatado.

A mobilidade de Zn na planta é moderada. Observa-se um acúmulo desse nutriente nos tecidos das raízes quando suprido em grande quantidade. Em folhas maduras e mais velhas, o Zn torna-se praticamente imóvel, não ocorrendo sua redistribuição para os tecidos em crescimento o de maior exigência funcional.

Para a produção de 3093 kg ha^{-1} de grãos, foram exportados 92 g ha^{-1} de Zn pelos grãos (Tabela 3).

- Cobre (Cu)

Os sintomas de deficiência de Cu são: clorose, morte apical e internódios curtos (Figura 33). No Estado de São Paulo não tem sido observados sintomas de deficiência de Cu, pois a cultura está estabelecida em solos não alcalinos e ou com alto teor de matéria orgânica.

Figura 33. Deficiência de Cu. Clorose (cor violeta) nas bordas da folha; desenvolvendo-se entre as nervuras, com início nas folhas novas.



O Cu é absorvido pelas plantas na forma de Cu^{+2} . Há indícios que sua absorção é inibida pelo de Zn e vice-versa. A redistribuição de Cu na planta depende da concentração. Assim, plantas bem nutridas desse elemento possuem maior mobilidade das folhas para as sementes, enquanto em plantas carentes há menor mobilidade. O Cu nas plantas concentra-se nos cloroplastos, sendo este nutriente ativador de diversas enzimas. Para a produtividade de 3.093 kg ha^{-1} se exporta 45 g de cobre pelos grãos (Tabela 3).

- Ferro (Fe)

O sintoma de deficiência de Fe é a clorose internerval, que pode ser confundida com o sintoma provocado pela deficiência de N, em caso de ser inicial. Com a progressão dos sintomas visuais, é possível distinguir da deficiência por N, por ocorrer em folhas mais novas (Figura 34).

Devido à sua mobilidade em estado mais avançado, a cor verde desaparece completamente inclusive nas nervuras principais (Figura 35). A soja FTA é usada como planta indicadora de deficiência de Fe (Figura 36)

O Fe é absorvido pelas raízes como cátion divalente ou como quelado, sendo irrelevante a absorção na forma trivalente pela sua baixa solubilidade em relação ao pH normal dos solos. A disponibilidade de Fe inorgânico parece ser dependente da capacidade de raízes em abaixar o pH, o que poderia reduzir o Fe^{3+} para Fe^{2+} . Alta disponibilidade de Fe pode causar menor absorção de Mn em plantas de soja, conforme demonstrado por LEIDI e GOMES (1999), em um experimento com solução nutritiva.

As principais funções de Fe na planta são relacionadas com a formação de complexos (estrutural) e com a transferência de elétrons (ativador de enzimas). Nas leguminosas, outro papel importante de Fe é na fixação simbiótica no N_2 atmosférico, fazendo parte da enzima nitrogenase.

Para produção de 3.093 kg ha^{-1} de grão de soja, exportou-se 677g de ferro pelos grãos (Tabela 3).

Figura 34. A cultivar Bossier com início dos sintomas de toxidez de Fe com as chuvas (454 mm).



Figura 35. Sintomas de deficiência de Fe pelo excesso de chuvas e amarelecimento da planta.



Figura 36. Linhagem de soja indicadora de toxidez de Fe.



- Manganês (Mn)

Plantas deficientes em Mn têm inicialmente clorose nas folhas (Figura 37), sendo esse mais grosseiro do que o de Fe; a toxicidade se caracteriza pela encarquilhamento das folhas (Figura 38) e presença de pintas necróticas.

Figura 37. Sintomas de deficiência de Mn com clorose nas folhas de soja (abaixo) e plantas normais (acima).



Figura 38. Sintomas de toxidez de Mn com encarquilhamento das folhas.



O Mn é absorvido predominantemente como Mn^{+2} , tendo o Mg como seu competidor. A calagem também reduz a absorção de Mn por diminuir sua solubilidade na solução do solo, podendo causar até deficiência, conforme demonstrado por TANAKA et al. (1992). A mobilidade do Mn na planta é considerada intermediária. A mais conhecida entre as funções do Mn na planta é sua participação na fotossíntese, particularmente na evolução de oxigênio.

A cultura de soja com a produção de 3093 kg ha⁻¹ exporta 88 g ha⁻¹ pelos grãos (Tabela 3).

- Molibidênio (Mo)

Os sintomas de deficiência de Mo são semelhantes aos de N, pois esse micronutriente é essencial à incorporação de N ao esqueleto orgânico dos tecidos e em leguminosas, por ser integrante de enzima nitrogenase, no caso de sua deficiência e também a absorção de N atmosférico.

Figura 39. (a) plantas de soja cv. IAC-8 com sintomas de deficiência de Mo semelhantes aos de N; (b) na presença de 4 t ha⁻¹ de calcário, os sintomas de deficiência de Mo desaparecem; (c) na ausência de calagem e aplicação de 100 g ha⁻¹ de Mo, os sintomas de deficiência de Mo também desaparecem.



Fonte: J.A. Quaggio

O Mo é absorvido pelas plantas como MoO_4^{-2} . Sua disponibilidade no solo aumenta com elevação do pH, portanto, a calagem pode produzir efeito suficiente para nutrir adequadamente a cultura (Figura 39).

A razão da essencialidade de Mo é pelo mesmo fazer parte de enzima redutase do nitrato, que reduz o NO_3 absorvido pelas plantas a NH_3 para ser incorporado aos compostos orgânicos. Deduz-se, portanto, que plantas deficientes em Mo têm relativamente maior acúmulo de NO_3 e menor de compostos aminossolúveis. Portanto, há semelhança visual de deficiência entre os dois nutrientes.

Outra função importante do Mo, mas com atuação indireta, é na fixação simbiótica do N_2 atmosférico. Nesse processo, o Mo é constituinte da enzima nitrogenase que, por sua vez, está nas bactérias e actinomicetos, mas não nas plantas superiores. Os nódulos das leguminosas podem concentrar dez vezes mais Mo do que as folhas.

Para a produtividade de 3093 kg ha^{-1} de grãos de soja, estima-se uma exportação de $2,5 \text{ g ha}^{-1}$ de molibidênio.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Maria Angela Manzi da Silva, pela revisão do texto e à Maria Regina de Oliveira Camargo, pela colaboração na digitação das imagens e do texto.

REFERÊNCIAS

- BATAGLIA, O.C.; MASCARENHAS, H.A.A. **Absorção de nutrientes pela soja**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1977. 36p. (Boletim Técnico, 41)
- BORST, H.L.; THATCHER, L.E. Life history and composition of the soybeans plant. **Ohio Agriculture Experimental Station**, 1931. (Bull. 494)
- DeMOOY, C.J.; PESEK, J.; SPALDON, E. Mineral nutrition. In: CALDWELL, B.E. (Ed.). **Soybeans: Improvement, Production and Uses**. 1973. p.267-352.
- FAUCONNIER, D.; MALAVOLTA, E. **Adubação para produtividade e qualidade: soja**. Basel: Instituto Internacional da Potassa, 1999. 74p. (IIP-Boletim, 9)
- LEIDI, E.O.; GOMES, M. Influence of iron levels on manganese uptake by soybeans. **Revista Interamericano de Ciências Agrícolas, Turrialba**, v.41, p.266-272, 1991.
- MASCARENHAS, H.A.A. et al. Adubação da soja: V - Efeitos da inoculação das sementes com *Rhizobium* da subsequente "peletização" com pasta de carbonato de cálcio na ausência e na presença da calagem e da adubação nitrogenada. **Bragantia** [online]. 1967, vol.26, n.unico, p.143-154.
- MASCARENHAS, H.A.A. et al. Deficiência de boro em soja. **Bragantia**, v.47, p.325-331, 1988.
- MASCARENHAS, H.A.A. et al. Abertura de vagens imaturas de soja em decorrência de fatores ambientais e de deficiência de potássio. **O Agrônomo**, v.41, p.64-68, 1989.
- MIRANDA, M.A. C. et al. Clorose internerval em folhas de soja induzida por deficiência de magnésio. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 3., Campinas, 1984. **Anais...** Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1984. p. 702-708.
- NOVO, M.C.S.S. et al. Influência do nitrogênio e do potássio no crescimento e no rendimento da soja cultivada no inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, p.33-41, 1997.

OHLROGGE, A.J.; KAMPRATH. Fertilizer use in soybeans. In: NELSON, L.B. (Ed.). Changing patterns in fertilizer use. **Madison**: Soil Science Society of America, 1968. p.273-295.

PECK, T.R. Plant analysis for production agriculture. In: SOIL PLANT ANALYSIS WORKSHOP, 7., Bridgetown, 1979. Proceedings... **Bridgetown**, 1979. p.1-45.

SFREDO, G.J.; BORKERT, C.M. Deficiência e toxicidade de nutriente em plantas de soja. Londrina: **Embrapa Soja**, 2004. 42p. (Embrapa Soja, Documentos, 231)

SING, R.K.; RAO, P.J.M. Biological significance of nickel on the nitrogen fixing ability of cowpea Bradyrhizobium. **Journal of Plant Nutrition**, v.20(10), p.1449-1455, 1997.

TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; BORKERT, C.M. Nutrição mineral da soja. In: ARANTES, N.E.; SOUZA, P.I.M. (Ed.). **Cultura da soja nos cerrados**. Piracicaba: Potafos, 1993. p.105-141.